

素地調整の規格と品質管理

池田龍哉¹⁾，貝沼重信²⁾

1. はじめに

近年，LCC の観点から橋梁の保全に伴う塗替え工事が進められている．塗替え塗装の耐久性を確保する上で素地調整が最重要であることは広く周知されている．素地調整の目的は，塗装の早期剥離・割れ等の損傷を誘発する物質を表面から除去すること，および塗替え塗装の所定の付着性を確保するために必要な粗さを形成ことである．重防食塗装時には一般にブラスト処理による素地調整が採用されている．

ブラスト処理では高压エアを用いて研削材を噴射することで，旧塗膜を含む汚染物質を除去するとともに塗替え塗膜に必要な粗面を鋼素地に形成できる．ブラスト技術は 1870 年に B.C ティルマンにより米国で開発され，我が国では 1960 代から金属溶射やピーニングの分野での本格的に運用されるようになった．その後，1988 年に ISO8501-1¹⁾で素地調整グレード判定用ビジュアルブックが作成され，運用されるようになった．

しかし，ブラストの品質管理に直結するビジュアル判定や粗さの管理は定性的であるため，適切な教育無しでは運用が困難である．ブラストは塗装品質や耐久性に大きく寄与するにもかかわらず，施工直後にしか品質管理ができず，時間に追われながら運用されている．十分なスキルが必要とされる定性的な判定方法にも関わらず，適切な教育が無いまま運用されていることから，今後，必要とされる塗装耐久性を著しく低下させる塗装の不具合が顕在化することが懸念される．そこで，本稿では素地調整の規格の現場運用の際の注意点，および工夫と品質管理について，学術的な検討結果を踏まえて報告する．

2. 素地調整の規格

2.1 表面清浄度（素地調整グレード）判定

表面清浄度判定は図 1 に示す ISO8501-1 ビジュアルブック¹⁾を用いて，ブラスト施工面とビジュアル判定写真を目視で比較することで定性的に判定される．

ISO のブラスト素地調整グレードは，Sa3，Sa2，Sa1 および Sa2 1/2 の計 4 種類であり，橋梁の重防食塗装システムでは Sa2 1/2 が用いられている．Sa2 1/2 は「拡大鏡なしで目視確認できるミルスケール，さび，塗装，異物，油，グリース及び泥土が無い．残存するすべての汚れは，その痕跡が斑点またはすじ状のわずかな染みだけとなって確認できる程度である」とあり，許容されるわずかな染みとビジュアルブック写真を比較し，同等以上であるか否かを判定する必要がある．

また，現行の ISO8501-1:2007¹⁾ では，同規格で初めて研削材の残留による見え方の違いが言及され，図 2 に示すように各種研削材による差異が例示されており，最新の研究²⁾³⁾において研削材の残留性状の詳細が明らかにされている．



図 1 ビジュアル判定状況

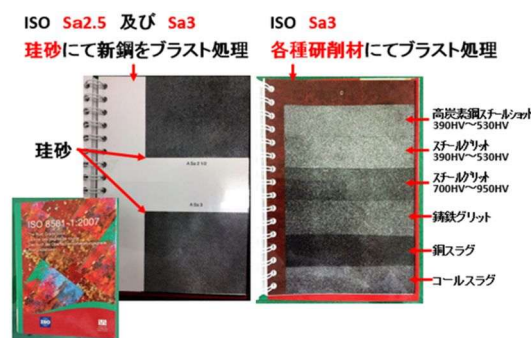


図 2 ISO8501-1:2007¹⁾⁵⁾

1) 池田工業株式会社 〒049-0151 北海道北斗市中野通り 218-3

2) 九州大学大学院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

IS08501-1 の塗装塗替え時の素地調整グレード確認写真 C Sa2 1/2 は、スウェーデンの SIS 規格⁴⁾から引用されている。この写真は珪砂でブラストした写真であるため、珪砂の残留を考慮した比較をする必要がある。また、さびと旧塗膜の残存とわずかな染みの識別が必要とされる。

品質管理レベルがより高い運用として、米国では表面を拡大した目視検査が求められており、施工部位全体を観察・検査後に、その任意領域 (76×76 mm) をランダムに抽出して集中的に目視検査する方法が採用されている。サイズが小さい比較写真を用いて、広範囲の施工部を比較・検査することは非常に困難である。そのため、表面清浄度のビジュアル判定には、検査者の高いスキルと経験が必要になる。我が国では公のビジュアル判定スキルの学習機会が無いため、我流の運用などによる素地調整品質の大きなバラつきが課題であと考える。

2.2 表面粗さ

素地調整のもう一つの目的として、「新しい塗装の付着性を良くするために適切な表面粗さを確保する必要がある」があり、鋼素地表面を粗面化し投錨 (アンカー) 効果で鋼素地と塗料の付着性を向上させる必要がある。

表面粗さの現場計測の方法として、表面形状比較板 (コンパレータ) と図 3 に示す目視判定法と触針式表面粗さ計による物理計測法が主に用いられている。コンパレータは 4 区分の見本粗さから目視で近い粗さを判定するため、前述した表面清浄度と同様にバラつきが起こりやすい。また、コンパレータの粗さは Rz (最大高さ) が用いられており、Rz-jis (10 点平均粗さ) との相関は無いため、仕様が Rz-jis の場合は、測定方法が異なるため注意が必要である。図 4 に示す触針式表面粗さ計では、その先端に 10 μ 程度の針が対象面の起伏に追従しながら表面を移動することで粗さを定量計測できる。しかし、針の径や尖度から 10 μ 以下の起伏は計測できないため、面粗さを把握できない。また、鋼材自体の溶接などによるひずみに影響を受けるため誤差が生じやすく、運用する上で注意が必要である。

鋼道路橋防食便覧⁶⁾には「粗さが大きすぎると、その上に塗られる塗膜厚が不十分になる恐れがあるので表面粗さは 80 μ Rz-jis 以下にすることが望ましい」とある。下限値が明示されていないが、別項の塗装用塗料の試験用ブラスト処理鋼板の処理条件に 25 μ Rz-jis を標準とするとの記載があり、また別項の耐候性鋼材の塗替えに関しては、25~80 μ Rz-jis の中間程度との記載があるため、新規塗装の付着性を向上させる目的から考えると 25~80 μ Rz-jis の範囲で粗さを得ることが望ましい²⁾。

最新の研究^{5), 6)}では、ブラストの粗さはブラストノズル形状、噴射の圧力・角度、距離、研削材の材質・粒度が粗さに及ぼす影響を定量評価されている。これにより、将来的に経験則ではない理論的に必要とされる粗さが解明されることを期待したい。



図 3 表面形状比較板 (コンパレータ)⁵⁾



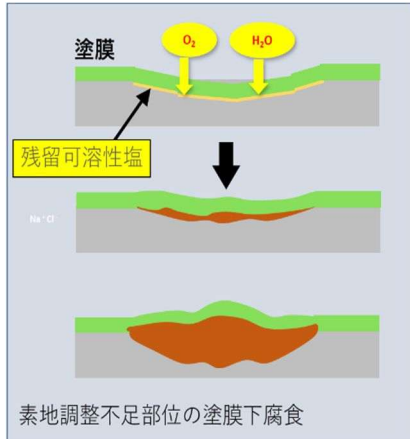
図 4 触針式表面粗さ計⁵⁾

3. 品質管理

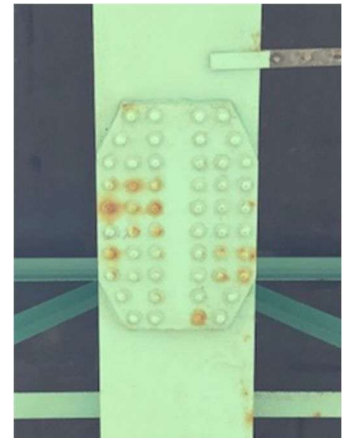
3.1 塩類の測定と閾値

IS08501-1 ビジュアルブックでは、目視できない汚染物質の除去判定に使用しないことになっており、特に塩類に関して注意を促している。塩類が鋼材の腐食要因となることは広く認識されている。塩類もしくは塩を含有したさびを鋼材表面に残存した状態で新規塗装した場合、図 5 に示すようにさびや塩類

中の水分や塗膜表面から残留塩による浸透圧により水分に起因して塗膜下腐食が発生する。有機皮膜である塗膜は塗膜への水分侵入の遅延効果を期待できるが水蒸気を透過するため、素地調整時に塩類を極力、除去することが重要になる。

(a) 塗膜下腐食の発生過程⁵⁾

(b) 一般部

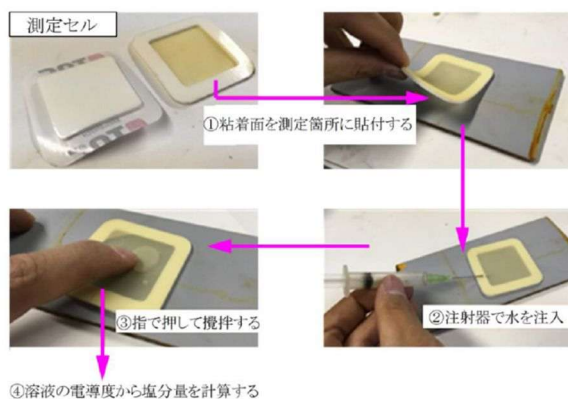


(c) ボルト継手部

図 5 塗膜下腐食の発生過程, および塗膜下腐食の発生機構と事例

構造物における塩類の測定方法として、主に電気伝導度法（ブレッセル法）⁷⁾が採用されている。この方法では、図 6 に示すように、ゴムパッチ（ブレッセルパッチ）を鋼素地の任意の位置に貼付し、純水をパッチ内に注入後、パッチ内で純水を攪拌させることで塩類を鋼素地から溶出させ、その溶液の電導度を計測する。

ブレッセル法は運用面で注意しなければいけない点がある。ブレッセルパッチの測定領域が 12.5 cm²と小さいため、測定すべき部位や頻度を施工現場に応じて適切に選定する必要がある。測定頻度は米国海軍 NAVSEA STANDARD⁸⁾に記載されている。測定タイミングについては、鋼道路橋防食便覧で施工前の旧塗膜上で測定するという記述と素地調整後に測定するという両方の記述がある。また、素地調整前に塩類の付着状況を確認し、必要に応じて除去工程を加えて、この素地調整後に塩類が除去できているか否かを確認する記述もある。先行研究⁹⁾でさび上からの水洗は、さび層内の塩類除去が困難であることが示されているため、さびの除去後に水洗する必要があると言える。

(a) ブレッセルパッチの貼付手順⁵⁾

(b) 素地調整後の測定状況

図 6 電気伝導度法

またブレッセルパッチの形状から重度腐食部の著しい起伏や入隅・出隅・狭隘部などでは測定困難であるため、工夫が必要である。ブレッセルパッチによる塩類溶出に必要な抽出時間は 10 秒～1 分など様々な時間で運用されているが、ISO8502-6:2020¹⁰⁾では従来の抽出時間では足りないことから、10 分間溶出させることが推奨されている。

残留塩類の閾値は各国で検討されているが、ISO, JIS, AMPP¹¹⁾の規格で閾値は規定されていない。鋼道路橋防食便覧では塩類測定結果の閾値として 50 mg/m²以下が明記されている。付着塩分量の閾値に関

して各国で検討されており、1990 年代に NAVSEA STANDARD が塩類の閾値を船舶の暴露部 100 mg/m²、没水部 50 mg/m²と定め運用していたが、塗装の剥離などの問題が頻発したため、暴露部 50 mg/m²、没水部 30 mg/m²に閾値が変更された。また、2004 年にノルウェーの Norsok スタンドアード¹²⁾では、閾値を 20 mg/m²として運用されている。今後、塩類と塗膜下腐食の研究が進むことで、さらに低い閾値が求められることが予想される。

3.2 ブラスト後の清掃と検査

一般的に塗装は、素地調整（ブラスト）後に粉じんを清掃し、グレード確認と粗さ・除塩の検査を受け、検査合格後に施工される。ISO ではブラスト施工後の表面付着粉じんの測定法（ISO8502-3）¹²⁾を規定しており、品質確認の一環として清掃状況のチェックが求められている。ブラスト時に発生した粉じんが鋼素地に付着した状態や、除去したはずの鉛など有害物質が浮遊・付着した状態で塗装すると塗膜剥離などの原因となる。しかし、鋼素地に付着した粉じんを清掃除去するには、多くの時間が必要とされる。鋼道路橋防食便覧では戻りさび発生抑止の観点からブラスト後 4 時間以内に塗装することが推奨されている。表面清浄度判定で戻りさびがあると判定された場合、検査は不合格となり再度、ブラストすることとなる。そのため、戻りさびの発生が著しくなる前に、素地調整後、早々に塗装することが求められているが、前述した有害物質の浮遊・付着を考慮することが課題となる。

4. まとめ

鋼構造物を長寿命化する上で、塗替え塗装時の素地調整の品質を適切に管理・確保することが重要である。そのためには、素地調整の規格の設定の背景や意味を理解した上で、施工をすることが不可欠と考える。しかし、品質管理基準が定性的で個人のスキルに大きく依存するにも関わらず、学習機会がほとんど無い現状にある。また、塗装品質や耐久性は鋼素地の残留塩に大きく依存するにも関わらず、塩類の確認や除去に関する規格が十分に整備されていない。規格をベンチマークとして素地調整に関する研究が進むことによって、従来の数値や考え方を見直すことが必要になってきている。

参考文献

- 1) International Organization for Standardization : ISO8501-1, Part 1: Rust Grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, 2007.
- 2) キムアラン, 貝沼重信, 渡邊亮太, 池田龍哉, 小寺建史: ブラスト処理条件が鋼素地の表面性状と研削材残留度に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, 2017
- 3) A. Kim, S. Kainuma and M. Yang : Surface Characteristics and Corrosion Behavior of Steel Substrate Treated by Abrasive Blasting, Metals, Vol.11, Issue 12, 2065, 2021.
- 4) Swedish Standard Institute : SIS 05 59 00
- 5) (公財) 土木学会 : 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策, 2019
- 6) (公社) 日本道路協会 : 鋼道路橋防食便覧, 2014
- 7) International Organization for Standardization : ISO8502-9, Part 9: Field method for the conductometric determination of water-soluble salts, 2020
- 8) NAVSEA Standard : Items FY-24, 3.10.6.3, 2024
- 9) 貝沼重信 小林淳二 山本悠哉 : 飛来塩環境における無塗装鋼材の水洗浄による腐食遅延効果, 鋼構造年次論文報告集, 2014
- 10) International Organization for Standardization : ISO8502-6 , Part 6: Extraction of soluble contaminants for analysis The Bresle method
- 11) Association for Materials Protection and Performance
- 12) NORSOK STANDARD : M-501, Surface preparation and protective coating, 2004
- 13) International Organization for Standardization : ISO8502-3, Part 3: Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method), 2017